

白术连作根际土壤的理化性质及微生物区系变化

陈 慧¹, 杨志玲^{1,①}, 袁志林¹, 杨 旭¹, 刘小芳²

(1. 中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 浙江 富阳 311400; 2. 湖南省常宁市林业局, 湖南 常宁 421500)

摘要: 对不同种植年限白术(*Atractylodes macrocephala* Koidz.) 根际土壤的部分理化指标、酶活性和微生物区系进行了测定和比较。结果表明: 随白术种植年限的增加(0、1 和 2 a), 根际土壤 pH 值显著下降($P < 0.05$), 根际土壤中有机和全氮含量呈先升高后降低趋势, 速效钾含量则逐渐升高, 而有效磷含量和 C/N 比小幅波动, 总体上不同种植年限根际土壤的这些指标差异不显著; 根际土壤中有效铁、有效铝和交换性锰含量显著或极显著($P < 0.01$) 增加, 且较对照(未种植白术的土壤)分别增加了 127.51%、18.38% 和 106.83%, 但有效铅含量变化幅度较小; 2 年生白术根际土壤中过氧化氢酶、脲酶和蛋白酶活性显著低于对照; 2 年生白术根际土壤中细菌和放线菌数量及微生物总量较 1 年生白术根际土壤显著下降, 真菌数量则显著上升。结果显示: 土壤酸化严重、金属离子大量积累、主要酶活性失调以及微生物区系改变可能是白术连作障碍的潜在原因。

关键词: 白术; 连作障碍; 土壤理化性质; 土壤酶活性; 微生物区系

中图分类号: S567.23⁺3; S154; S153 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2014)01-0024-06

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2014.01.04

Changes of physicochemical property and microflora in rhizosphere soil of continuous cropping of *Atractylodes macrocephala* CHEN Hui¹, YANG Zhiling^{1,①}, YUAN Zhilin¹, YANG Xu¹, LIU Xiaofang² (1. Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Fuyang 311400, China; 2. Forestry Bureau of Changning City in Hu'nan Province, Changning 421500, China), *J. Plant Resour. & Environ.* 2014, **23**(1): 24-29

Abstract: Some physicochemical indexes, enzyme activity and microflora in rhizosphere soil planted with *Atractylodes macrocephala* Koidz. for different years were determined and compared. The results show that with increasing of planting year (0, 1 and 2 a) of *A. macrocephala*, pH value in rhizosphere soil decreases significantly ($P < 0.05$), contents of organic matter and total N in rhizosphere soil appear the trend of first increasing and then decreasing, available K content increases gradually, while available P content and C/N ratio fluctuate slightly. Generally, these indexes in rhizosphere soil planted for different years have no significant difference. And contents of available Fe, available Al and exchangeable Mn in rhizosphere soil increase significantly or extremely significantly ($P < 0.01$), and increase by 127.51%, 18.38% and 106.83% compared with the control (soil unplanted with *A. macrocephala*), respectively, but change range of available Pb content is a little. The activities of catalase, urease and protease in rhizosphere soil planted with *A. macrocephala* for two years decrease significantly than those of the control. The numbers of bacteria, actinomycetes and total number of microorganism in rhizosphere soil planted with *A. macrocephala* for two years decrease significantly but the number of fungi increases significantly than those in rhizosphere soil planted with *A. macrocephala* for one year. It is suggested that serious acidification, massive metal ions accumulation, main enzymes inactivation, and microflora alteration of soil may be the potential cause of continuous cropping obstacle of *A. macrocephala*.

Key words: *Atractylodes macrocephala* Koidz.; continuous cropping obstacle; soil physicochemical property; soil enzyme activity; microflora

收稿日期: 2013-09-23

基金项目: 国家林业局“948”项目(2011-4-64; 2011-2013)

作者简介: 陈 慧(1988—), 女, 浙江绍兴人, 硕士研究生, 主要从事药用植物培育方面的研究。

①通信作者 E-mail: zlyang0002@126.com

中药材白术是菊科(Compositae)植物白术(*Atractylodes macrocephala* Koidz.)的干燥根茎,具有护肝利胆、调节免疫、降低血压和血糖等作用^[1],在江苏、浙江、福建、江西、安徽、四川、湖北及湖南等地均有栽培^[2];浙江为其道地产区之一,其中又以金华磐安所产白术最为著名^[3],常年种植面积约12 km²,年产量约3 000 t,约占全国总产量的30%^[4]。白术为宿根植物,具有极强的忌地性,不能重茬连作;即使在正常管理条件下,连作白术也容易得立枯病、根腐病、白绢病和斑枯病,发病率极高且呈逐年加重的趋势^[5];白术病田死苗率为30%~40%,重病田死苗率达80%以上,甚至绝收^[6]。病害频发导致白术产量和品质下降,给药农带来了较大的经济损失。在生产实践中,药农为了避免白术连作,常将1年生白术幼苗移栽至未种植过白术的土壤进行复种,且栽植过白术的土壤一般经过3~5 a才可再植,导致土地资源极大浪费,影响白术主产区的可持续发展。

药用植物在栽植过程中普遍出现连作障碍问题,尤其是根和根茎类药材的连作障碍问题尤为突出,如北沙参(*Glehnia littoralis* Fr. Schmidt ex Miq.)、太子参[*Pseudostellaria heterophylla* (Miq.) Pax.]、当归[*Angelica sinensis* (Oliv.) Diels.]、大黄[*Ligularia duciformis* (C. Winkl.) Hand. -Mazz.]、黄连(*Coptis chinensis* Franch.)、三七[*Panax notoginseng* (Burk.) F. H. Chen ex C. Y. Wu et K. M. Feng]和人参(*Panax ginseng* C. A. Mey.)等药材的种植^[7]均存在此类问题。研究者对植物连作障碍的关注由来已久,但研究对象主要集中于作物、蔬菜及果树。近年来,随着中药产业的发展,药用植物栽植过程中所产生的连作障碍问题日益突出,一些学者对其原因及机制进行了研究,且药用植物连作引起的土壤环境恶化问题也成为研究的热点^[8]。黄泰康^[9]认为:土传病虫害是导致人参连作障碍的主要原因,其他原因还包括连作土壤养分亏缺、土壤盐分积累和土壤酸化等;刘德辉等^[10]对常年种植丹参(*Salvia miltiorrhiza* Bunge)和板蓝根(*Wrightia laevis* Hook. f.)等药材的农田土壤肥力变化进行了研究,结果表明土壤有机质、全氮、全磷和有效磷含量随种植年限延长而减少,土壤养分比例失调;夏品华等^[11]的研究结果显示:不同连作年限太子参栽植土壤的养分失调、土壤微生物区系失衡、土壤主要酶活性发生改变,导致太子参连作障碍的主要原因可能为根系土壤微生态失衡。

白术为浙江磐安地区重要的经济作物,以往对白术的研究主要侧重于良种选育和推广以及农艺栽培技术的改良^[12-13]等方面,对白术连作障碍的成因及机制仅有少量研究报道。徐建中等^[14]的研究结果显示:白术栽植土壤的有机溶剂浸提液、幼苗根系分泌物及幼苗地上部分和地下部分水浸液对白术幼苗生长均有显著抑制作用,推测白术自毒作用可能是导致其连作障碍的主要原因之一;安信伯等^[15]的研究结果表明:重茬白术易患根腐病,所引起的死苗率达50%以上,重病田则达90%。植物连作障碍往往是多因素共同作用的结果,仅通过白术自毒作用及其病虫害的研究并不能完全解释白术连作障碍的成因,因而,必须从多方面(包括自身生物学特性、病虫害及环境因子等)探讨这一问题。

为此,作者以不同种植年限白术根际土壤为研究对象,分析根际土壤的部分理化指标、酶活性和微生物区系的变化,探讨白术连作障碍与根际土壤理化性质、酶活性和微生物变化的关系,以期对白术连作障碍机制的研究提供实验依据,也为白术连作障碍问题的解决提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 样品采集

1.1.1 材料和样地概况 白术种子由浙江磐安中药研究所提供,经温州大学生命与环境科学学院丁炳扬教授鉴定。

供试白术的种植样地位于浙江省磐安县园塘林场场内,为新垦山地,地理坐标为东经120.57°、北纬28.98°,海拔893 m,样地坡度25.8°,土壤为棕壤。

1.1.2 实验设计及采样方法 于2010年4月选择面积约180 m²的新垦杉木[*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.]林地1块,翻耕平整,翻土深度约20 cm;将样地分成15个面积4 m×2 m的小区,小区间隔30 cm;将小区做成畦,畦高约15 cm,施足等量基肥。

2010年5月,按照随机区组排列,随机选择5个小区播种白术种子(作为连续2 a种植小区,即每处理5个重复),株行距为0.2 m;2011年5月,在剩余10个小区中随机选择5个小区进行播种(作为1 a种植小区),株行距为0.2 m,且播种数量与2010年相同;其余5个小区不进行播种(作为对照小区)。实验期间,所有小区(包括对照小区)的水肥农艺管理保持

一致。

2012年7月,按五点取样法采集各小区土壤。去除植株表层土,取出植株并抖落其根际土壤进行收集;同一小区的10株白术根际土壤混合均匀后作为1个土壤样品,每小区分别收集3个土壤样品。将土壤样品放入无菌自封袋中,置于冰盒内带回实验室。一部分土壤样品风干后用于理化指标和酶活性测定,另一部分土壤样品置于4℃冰箱内保存,供土壤微生物数量测定。

1.2 测定方法

1.2.1 土壤中主要养分及元素含量的测定 参照文献[16]的方法分别测定土壤pH值、有机质含量、全氮含量、速效钾含量、有效磷含量和交换性锰含量;采用ICP-AES法^[17]测定有效铝含量;采用浸提-原子吸收法^[18]测定有效铁和有效铅含量。

1.2.2 土壤中细菌、真菌及放线菌数量统计 参照文献[19]的方法对土壤中细菌、真菌及放线菌进行分离与计数。

1.2.3 土壤中脲酶、过氧化氢酶及蛋白酶活性测定 参照文献[20]的方法分别测定土壤中脲酶、过氧化氢酶及蛋白酶活性。

每个土壤样品以上各指标均重复测定3次。

1.3 数据处理和分析

采用SPSS 18.0统计分析软件对测定数据进行单因素方差分析及差异显著性分析。

2 结果和分析

2.1 不同种植年限白术根际土壤pH值及养分含量的变化

不同种植年限白术根际土壤pH值及养分含量的比较见表1。由表1可见:白术根际土壤pH值随种植年限的增加而逐渐降低,2年生白术根际土壤pH值较对照显著降低($P<0.05$),与1年生白术根际土壤pH值相比也有所降低,但未达到显著水平($P>0.05$)。白术根际土壤中的有机质和全氮含量随着种植年限的增加呈先升高后降低的趋势,而速效钾含量则呈逐渐升高的趋势,但差异均不显著;2年生白术根际土壤中有机质和全氮含量分别比1年生白术根际土壤降低了8.80%和7.34%。而不同种植年限白术根际土壤的有效磷含量和C/N比变化不大,差异不显著。

表1 不同种植年限白术根际土壤pH值及养分含量比较($\bar{X}\pm SD$)¹⁾

Table 1 Comparison of pH value and nutrient content in rhizosphere soil planted with *Atractylodes macrocephala* Koidz. for different years ($\bar{X}\pm SD$)¹⁾

土壤类型 ²⁾ Soil type ²⁾	pH	有机质含量/g·kg ⁻¹ Organic matter content	全氮含量/g·kg ⁻¹ Total N content	速效钾含量/mg·kg ⁻¹ Available K content	有效磷含量/mg·kg ⁻¹ Available P content	C/N比 C/N ratio
CK	4.79±0.08Aa	60.33±6.69Aa	2.31±0.17Aa	139.66±14.44Aa	43.26±1.88Aa	25.93±1.09Aa
Y1	4.62±0.05ABa	67.36±2.85Aa	2.59±0.11Aa	141.66±11.46Aa	43.23±1.33Aa	25.47±1.02Aa
Y2	4.31±0.09Bb	61.43±6.27Aa	2.40±0.16Aa	153.66±7.85Aa	43.60±0.70Aa	25.98±0.40Aa

¹⁾ 同列中不同的小写字母和大写字母分别表示差异显著($P<0.05$)和极显著($P<0.01$) Different small letters and capitals in the same column indicate the significant difference ($P<0.05$) and the extremely significant difference ($P<0.01$), respectively.

²⁾ CK: 未种植白术的土壤 Soil unplanted with *A. macrocephala*; Y1: 种植白术1a的土壤 Soil planted with *A. macrocephala* for one year; Y2: 种植白术连续2a的土壤 Soil planted with *A. macrocephala* for two years continuously.

2.2 不同种植年限白术根际土壤中部分金属元素含量的变化

不同种植年限白术根际土壤中部分金属元素含量的比较见表2。由表2可见:2年生白术根际土壤中有效铁、有效铝和交换性锰的含量均较对照极显著增加($P<0.01$),分别增加了127.51%、18.38%和106.83%;与1年生白术根际土壤相比则分别增加了55.53%、14.35%和46.60%,差异达显著($P<0.05$)或极显著水平。说明随着种植年限的增加,有效铁、有效铝和交换性锰在白术根际土壤中积累明显。而

随着白术种植年限的增加,根际土壤中有效铅含量较低且变化不大。

2.3 不同种植年限白术根际土壤中脲酶、蛋白酶和过氧化氢酶活性的变化

不同种植年限白术根际土壤中脲酶、蛋白酶和过氧化氢酶活性的比较见表3。由表3可知:1年生白术根际土壤中脲酶和蛋白酶活性与对照相比差异不显著($P>0.05$),2年生白术根际土壤中脲酶和蛋白酶活性均较对照和1年生白术根际土壤显著下降($P<0.05$)。随着种植年限的增加白术根际土壤中过氧化

表 2 不同种植年限白术根际土壤中部分金属元素含量比较 ($\bar{X}\pm SD$)¹⁾Table 2 Comparison of some heavy metal element contents in rhizosphere soil planted with *Atractylodes macrocephala* Koidz. for different years ($\bar{X}\pm SD$)¹⁾

土壤类型 ²⁾ Soil type ²⁾	有效铁含量/mg · kg ⁻¹ Available Fe content	有效铝含量/mg · kg ⁻¹ Available Al content	有效铅含量/mg · kg ⁻¹ Available Pb content	交换性锰含量/mg · kg ⁻¹ Exchangeable Mn content
CK	18.43±0.60Bb	756.33±61.89Bb	3.77±0.56Aa	12.00±0.30Bc
Y1	26.96±5.97ABb	783.00±40.93ABb	3.75±0.53Aa	16.93±1.88Bb
Y2	41.93±0.81Aa	895.33±18.45Aa	3.91±0.66Aa	24.82±1.03Aa

¹⁾ 同列中不同的小写字母和大写字母分别表示差异显著 ($P<0.05$) 和极显著 ($P<0.01$) Different small letters and capitals in the same column indicate the significant difference ($P<0.05$) and the extremely significant difference ($P<0.01$), respectively.

²⁾ CK: 未种植白术的土壤 Soil unplanted with *A. macrocephala*; Y1: 种植白术 1 a 的土壤 Soil planted with *A. macrocephala* for one year; Y2: 种植白术连续 2 a 的土壤 Soil planted with *A. macrocephala* for two years continuously.

表 3 不同种植年限白术根际土壤中部分酶活性的比较 ($\bar{X}\pm SD$)¹⁾Table 3 Comparison of some enzyme activities in rhizosphere soil planted with *Atractylodes macrocephala* Koidz. for different years ($\bar{X}\pm SD$)¹⁾

土壤类型 ²⁾ Soil type ²⁾	脲酶活 性/mg · g ⁻¹ Urease activity	蛋白酶活 性/mg · g ⁻¹ Protease activity	过氧化氢酶活 性/mg · g ⁻¹ · h ⁻¹ Catalase activity
CK	2.46±0.14Aa	0.60±0.12Aa	448.09±16.74Aa
Y1	2.49±0.02Aa	0.61±0.10Aa	421.86±19.75ABa
Y2	2.17±0.07Ab	0.27±0.01Ab	360.71±9.95Bb

¹⁾ 同列中不同的小写字母和大写字母分别表示差异显著 ($P<0.05$) 和极显著 ($P<0.01$) Different small letters and capitals in the same column indicate the significant difference ($P<0.05$) and the extremely significant difference ($P<0.01$), respectively.

²⁾ CK: 未种植白术的土壤 Soil unplanted with *A. macrocephala*; Y1: 种植白术 1 a 的土壤 Soil planted with *A. macrocephala* for one year; Y2: 种植白术连续 2 a 的土壤 Soil planted with *A. macrocephala* for two years continuously.

氢酶活性逐渐降低, 2 年生白术根际土壤中过氧化氢酶活性与对照和 1 年生白术根际土壤相比分别下降 19.50% 和 14.49%, 差异分别达到极显著 ($P<0.01$) 和显著水平。因此, 随着白术栽植年限的增加, 根际土壤中酶活性也发生改变, 尤其是 2 年生白术根际土壤中酶活性显著降低。

2.4 不同种植年限白术根际土壤中细菌、真菌及放线菌数量的变化

不同种植年限白术根际土壤中细菌、真菌和放线菌数量的比较见表 4。由表 4 可见: 1 年生白术根际土壤中细菌和放线菌数量及微生物总量与对照相比均显著增加 ($P<0.05$), 但是 2 年生白术根际土壤中细菌和放线菌数量及微生物总量与 1 年生白术根际

表 4 不同种植年限白术根际土壤中细菌、真菌和放线菌数量的比较 ($\bar{X}\pm SD$)¹⁾Table 4 Comparison of numbers of bacteria, fungi and actinomycetes in rhizosphere soil planted with *Atractylodes macrocephala* Koidz. for different years ($\bar{X}\pm SD$)¹⁾

土壤类型 ²⁾ Soil type ²⁾	细菌数量 Bacterium number	真菌数量 Fungus number	放线菌数量 Actinomycete number	总量 Total number
CK	(11.72±1.04)×10 ⁶ Ac	(25.95±2.32)×10 ³ Ab	(6.76±0.70)×10 ⁵ Ab	(12.38±0.99)×10 ⁶ Ac
Y1	(60.28±4.25)×10 ⁶ Aa	(25.48±2.24)×10 ³ Ab	(31.40±4.47)×10 ⁵ Aa	(60.58±4.23)×10 ⁶ Aa
Y2	(22.63±4.26)×10 ⁶ Ab	(55.80±3.59)×10 ³ Aa	(6.13±0.56)×10 ⁵ Ab	(23.22±4.25)×10 ⁶ Ab

¹⁾ 同列中不同的小写字母和大写字母分别表示差异显著 ($P<0.05$) 和极显著 ($P<0.01$) Different small letters and capitals in the same column indicate the significant difference ($P<0.05$) and the extremely significant difference ($P<0.01$), respectively.

²⁾ CK: 未种植白术的土壤 Soil unplanted with *A. macrocephala*; Y1: 种植白术 1 a 的土壤 Soil planted with *A. macrocephala* for one year; Y2: 种植白术连续 2 a 的土壤 Soil planted with *A. macrocephala* for two years continuously.

土壤相比显著下降; 而 2 年生白术根际土壤中真菌数量则较对照和 1 年生白术根际土壤中真菌数量显著增加。根际土壤中微生物总量的变化趋势与细菌、放线菌数量的变化趋势相似, 随着白术栽植年限增加, 其数量呈现倒“U”型趋势, 表现为先增长后减少。1 年生白术根际土壤中真菌数量与对照相比差异很小, 但是 2 年生白术根际土壤真菌数量显著增加, 与细菌和放线菌数量的变化趋势相反。

3 讨 论

连作栽培常造成药用植物生长发育变差、抗逆能力下降、同类病虫害猖獗、药材产量和质量下降, 严重者甚至导致植株死亡^[21]。关于药用植物连作障碍问题的相关研究已有较多报道, 涉及的药材有人参、地黄 [*Rehmannia glutinos* (Gaetn.) Libosch. ex Fisch. et

Mey.)、三七和丹参等^[22]。由土壤因素而引起的作物连作障碍是学者广泛关注的热点^[23],具体集中在土壤理化性状的改变、土壤生物学环境变化(包括土壤酶活性和土壤微生物群落结构的变化)等方面^[21]。

本研究分析了不同种植年限白术根际土壤的理化性质,研究结果表明:与1年生白术根际土壤相比,2年生白术根际土壤pH值降低,所取土样的酸碱度均小于pH 5,表现出较强酸性。这与喻敏等^[24]对连州百合(*Lilium brownii* var. *viridulum* Baker)连作田土壤pH值变化的研究结论相近。一些学者对丹参和附子(*Aconitum carmichaeli* Debx.)的相关研究也得出“随着连作年限的增加,土壤有变酸的趋势^[25-26]”这一结论。同时,本研究结果还表明:2年生白术根际土壤中有效铁、有效铝和交换性锰的含量较对照显著增加。窦森等^[27]在研究栽参后的土壤化学性质时也发现:栽参3年间土壤中的活性铁、锰和铝的含量提高,变化幅度分别为1.7%~33.2%、6.9%~36.7%和39%~99.8%。有研究证实:当土壤酸碱度低于pH 5时,高活性铝离子的含量会随着pH值的进一步降低迅速上升,严重制约植物生长,铝毒害是酸性土壤中植物生长发育的主要限制因子^[28]。另有研究表明:在土壤pH 4.5以下的条件下,溶解性铁和锰含量大大增加,铁和锰浓度的提高将对植物根系产生毒害^[21]。此外,铝等金属元素大量积累,会使根生长严重受阻,侧根和根毛数大为减少,根尖和侧根变粗变短,根脆性增大^[29],容易产生一些根部病害,进而可能导致植物连作障碍。

与1年生白术根际土壤相比,2年生白术根际土壤中过氧化氢酶、脲酶和蛋白酶活性均呈显著下降趋势。这与廖海兵等^[30]对浙贝母(*Fritillaria thunbergii* Miq.)连作的相关研究结果非常相似。土壤酶活性通常作为表征土壤肥力的重要指标^[31]。土壤中各类酶参与生物的呼吸代谢^[32],并通过酶促过氧化氢的分解,减少过氧化氢大量积累,防止过氧化氢对植物体产生毒害^[33]。土壤中过氧化氢酶活性降低,使植物根部氧化胁迫加剧,进而破坏根部组织细胞壁和细胞膜,使根部组织更易受到病原菌的侵染,最终可能导致植物病害发生。土壤中脲酶和蛋白酶主要参与土壤氮素的转化,保证植物顺利获得有效氮素营养。土壤中脲酶和蛋白酶活性下降,会使土壤中可利用氮素营养降低。随着白术种植年限的增加,根际土壤中过氧化氢酶、脲酶和蛋白酶的活性也逐渐降低,影响土

壤正常的生物化学过程。以上这些异常的生物化学过程可能导致土壤的养分转化及其结构改变,导致白术正常生长所需要的营养无法得到满足,从而可能对白术生长发育产生不良影响,进而产生连作障碍。

本研究结果还显示:白术栽植2 a后根际土壤微生物区系发生变化,主要表现为土壤中细菌数量减少、真菌数量增多。林茂兹等^[34]对连作2 a太子参的土壤微生物的研究结果显示:根际土壤微生态有所改变,根际土壤中“细菌/真菌”的数量比均小于休闲土和种植1 a的土壤。郭兰萍等^[35]对苍术(*Atractylodes lancea* (Thunb.) DC.)根际土壤微生物区系的研究也得出了相似的结果:2年生苍术根际区土壤中细菌、真菌和放线菌数量普遍低于1年生苍术根际区土壤,分别下降46.14%、49.25%和31.88%。此外,1年生地黄土壤中微生物种群多样性显著大于2年生地黄土壤,前者的土壤微生物群落调节功能更强^[36]。多项研究结果均显示:连作土壤过度酸化会使土壤微生物种类及数量比例发生改变,一些有益微生物数量下降^[37],表现为细菌和放线菌数量下降,有害真菌和线虫的数量上升^[38]。本研究中,与1年生白术根际土壤相比,2年生白术根际土壤微生物群落结构有一定差异,土壤根际微生态发生了变化。白术根际土壤所呈现的酸性环境十分有利于真菌类病原微生物的滋生繁衍,但并不利于细菌和放线菌等有益微生物的繁衍,这样的变化可能会使白术根部极易感染病害。

陈兴福等^[39]认为:白术适宜在微酸性至中性的土壤中生长。本研究结果显示:与1年生白术根际土壤相比,2年生白术根际土壤酸化严重,铝离子等金属离子在白术根部大量积累,部分土壤酶活性失调,土壤理化状态发生变化;根际土壤中细菌和放线菌数量下降,真菌数量上升,微生物区系有所改变,这些因素均可能诱发白术连作障碍。然而,要明确白术连作障碍的主导因子还需要就其连作之后白术生长、品质与根际土壤理化性质、酶活性及微生物区系变化进行连续的跟踪研究。

参考文献:

- [1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典: 2010年版(一部)[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2010: 95-96.
- [2] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志: 第七十八卷第一分册[M]. 北京: 科学出版社, 1987: 28.
- [3] 俞叶飞. 磐安五味[J]. 养生月刊, 2010(9): 859-861.
- [4] 磐安县第五届药交会组委会办公室. 磐安: “中国药材之

- 乡”[EB/OL]. [2011-09-14]. <http://city.sina.com.cn/city/2011-09-14/091022495.html>.
- [5] 潘秋祥,潘显能,袁伯新,等.“连作”生物有机肥在白术重茬中的应用效果[J].河北农业科学,2008,12(5):57,59.
- [6] 刘英慧,赵来顺.白术根腐病研究初报[J].中草药,1991,21(6):32-33.
- [7] 郭巧生.药用植物栽培学[M].北京:高等教育出版社,2004:61.
- [8] 郭兰萍,黄璐琦,蒋有绪,等.药用植物栽培种植中的土壤环境恶化及防治策略[J].中国中药杂志,2006,31(9):714-717.
- [9] 黄泰康.天然药物地理学[M].北京:中国医药科技出版社,1991:192.
- [10] 刘德辉,郭巧生,孙玉华,等.苏北中药材种植地土壤肥力衰退原因及其恢复对策[J].土壤通报,2000,31(2):76-78.
- [11] 夏品华,刘 燕.太子参连作障碍效应研究[J].西北植物学报,2010,30(11):2240-2246.
- [12] 储开江,潘秋祥,李 林,等.2个白术品种区域试验初报[J].浙江林学院学报,2008,25(1):127-130.
- [13] 何伯伟,姚国富,王忠兴,等.白术花蕾控制技术研究[J].中国现代中药,2011,13(8):25-27.
- [14] 徐建中,王志安,孙乙铭,等.白术自毒作用研究[J].中国现代中药,2011,13(11):25-27,48.
- [15] 安信伯,李德新,姚克荣,等.白术根腐病发生规律研究[J].河北林果研究,2007,22(1):65-68.
- [16] 鲍士旦.土壤农化分析[M].3版.北京:中国农业出版社,2000.
- [17] 陈 丰,刘 芳.微波消解/ICP-AES法测定土壤中的环境有效态金属元素[J].上海环境科学,2003,22(12):967-970.
- [18] 简在友,王文全,孟 丽,等.人参连作土壤元素含量分析[J].土壤通报,2011,42(2):369-371.
- [19] 中国科学院南京土壤研究所微生物室.土壤微生物研究法[M].北京:科学出版社,1985.
- [20] 关松萌,张德生,张志明.土壤酶及其研究法[M].北京:农业出版社,1986.
- [21] 张子龙,王文全.药用植物连作障碍的形成机理及其防治[J].中国农业科技导报,2009,11(6):19-23.
- [22] 乔卿梅,程茂高,王新民.根际微生物在克服药用植物连作障碍中的潜力[J].土壤通报,2009,40(4):957-961.
- [23] 苗淑杰,乔云发,韩晓增.大豆连作障碍的研究进展[J].中国生态农业学报,2007,15(3):203-206.
- [24] 喻 敏,余均沃,曹培根,等.百合连作土壤养分及物理性状分析[J].土壤通报,2004,35(3):377-379.
- [25] 张辰露,孙 群,叶 青.连作对丹参生长的障碍效应[J].西北植物学报,2005,25(5):1029-1034.
- [26] 张欢强,慕小倩,梁宗锁,等.附子连作障碍效应初步研究[J].西北植物学报,2007,27(10):2112-2115.
- [27] 窦 森,张晋京,江 源,等.栽参对土壤化学性质的影响[J].吉林农业大学学报,1996,18(3):67-73.
- [28] 阎 君,刘建秀.草类植物耐铝性的研究进展[J].草业学报,2008,17(6):148-155.
- [29] 应小芳,刘 鹏,徐根娣.土壤中的铝及其植物效应的研究进展[J].生态环境,2003,12(2):237-239.
- [30] 廖海兵,李云霞,邵晶晶,等.连作对浙贝母生长及土壤性质的影响[J].生态学杂志,2011,30(10):2203-2208.
- [31] 孙瑞莲,赵秉强,朱鲁生,等.长期定位施肥对土壤酶活性的影响及其调控土壤肥力的作用[J].植物营养与肥料学报,2003,9(4):406-410.
- [32] 马云华,王秀峰,魏 珉,等.黄瓜连作土壤酚酸类物质积累对土壤微生物和酶活性的影响[J].应用生态学报,2005,16(11):2149-2153.
- [33] 张萍华,申秀英,许晓路,等.酸雨对白术土壤微生物及酶活性的影响[J].土壤通报,2005,36(2):227-229.
- [34] 林茂兹,王海斌,林辉锋.太子参连作对根际土壤微生物的影响[J].生态学杂志,2012,31(1):106-111.
- [35] 郭兰萍,黄璐琦,蒋有绪,等.栽培苍术根际土壤微生物变化[J].中国中药杂志,2007,32(12):1131-1133.
- [36] 陈 慧.地黄连作对土壤微生物的影响[D].福州:福建农林大学农业生态研究所,2008:44-46.
- [37] 张重义,陈 慧,杨艳会,等.连作对地黄根际土壤细菌群落多样性的影响[J].应用生态学报,2010,21(11):2843-2848.
- [38] 刘建国,卞新民,李彦斌,等.长期连作和秸秆还田对棉田土壤生物活性的影响[J].应用生态学报,2008,19(5):1027-1032.
- [39] 陈兴福,刘思勋,刘岁荣,等.白术生长土壤的研究[J].中药研究与信息,2003,5(7):12-16.

(责任编辑:张明霞)